



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0052868

(51)^{2020.01} H04W 56/00

(13) B

(21) 1-2020-05621

(22) 30/09/2020

(45) 27/10/2025 451

(43) 25/01/2021 394A

(73) TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỆN THÔNG QUÂN ĐỘI (VN)

Lô D26 khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

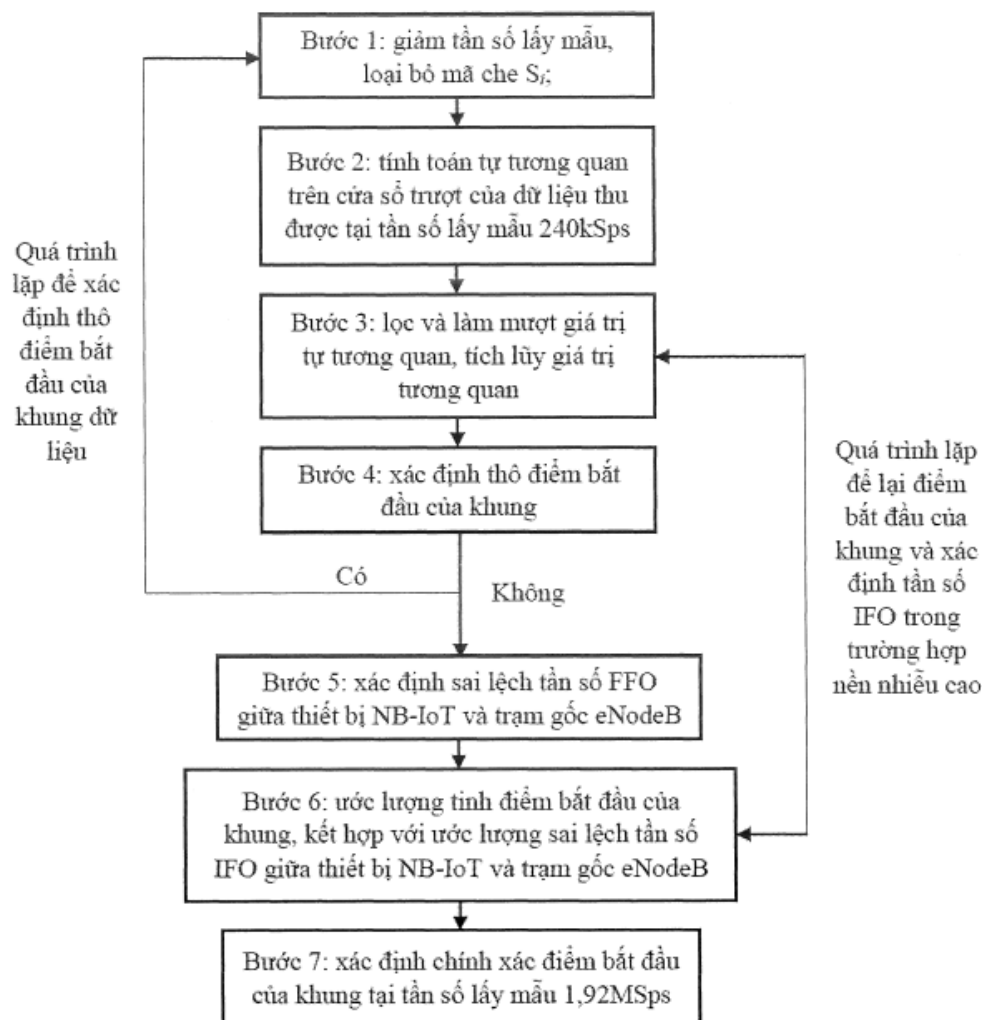
(72) ĐỒNG QUANG TRUNG (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACILAW)

(54) HỆ THỐNG VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐỒNG BỘ KHUNG VÀ ĐỒNG BỘ TẦN SỐ
GIỮA MÁY PHÁT VÀ MÁY THU TRÊN THIẾT BỊ NB-IOT

(21) 1-2020-05621

(57) Sáng chế đề xuất một hệ thống và phương pháp đồng bộ khung và đồng bộ tần số giữa máy phát và máy thu trên thiết bị NB-IoT, đồng thời cũng cho phép ước lượng và đồng bộ lại sai lệch tần số giữa bên phát và bên thu. Cụ thể là, hệ thống đồng bộ khung và tần số bao gồm các khối: khối giảm tần số lấy mẫu, loại bỏ mã che và tính toán tự tương quan; khối lọc và làm mịn giá trị tương quan; khối tích lũy tương quan; khối ước lượng thô điểm bắt đầu khung dữ liệu; khối xác định sai lệch tần số FFO và bù trừ sai lệch tần số FFO; khối ước lượng tinh điểm bắt đầu khung dữ liệu và sai lệch tần số IFO. Phương pháp được đề xuất bao gồm các bước: bước 1: giảm tần số lấy mẫu, loại bỏ mã che S_i ; bước 2: tính toán tự tương quan trên cửa sổ trượt của dữ liệu thu được tại tần số lấy mẫu 240kSps; bước 3: lọc và làm mượt giá trị tự tương quan, tích lũy giá trị tương quan; bước 4: xác định thô điểm bắt đầu của khung; bước 5: xác định sai lệch tần số FFO giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB; bước 6: ước lượng tinh điểm bắt đầu của khung, kết hợp với ước lượng sai lệch tần số IFO giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB; bước 7: xác định chính xác điểm bắt đầu của khung tại tần số lấy mẫu 1,92MSps.



Hình 2

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề xuất hệ thống và phương pháp đồng bộ khung và đồng bộ tần số giữa máy phát và máy thu trên thiết bị NB-IoT (thiết bị vạn vật kết nối băng hẹp - Narrowband Internet of Things). Cụ thể, sáng chế được đề xuất sử dụng điều chế sóng mang trực giao (Orthogonal Frequency Division Multiplexing- OFDM) và được ứng dụng trong lĩnh vực ngôi nhà thông minh, thành phố thông minh.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Vạn vật kết nối băng hẹp (Narrowband Internet of Things NB-IoT) là chuẩn kết nối diện rộng công suất thấp được định nghĩa trong chuẩn 3GPP cho thị trường vạn vật kết nối. Khi thiết bị người dùng NB-IoT được bật nguồn, thiết bị NB-IoT sẽ thực hiện quá trình đồng bộ khung (hay còn gọi là đồng bộ thời gian) để xác định thời điểm bắt đầu của khung dữ liệu mà thiết bị NB-IoT thu nhận được.

Bên cạnh đó, NB-IoT có mục đích được sử dụng cho các thiết bị người dùng NB-IoT có giá thành rất thấp, và thường được trang bị bởi bộ giao động rẻ tiền. Với bộ giao động rẻ tiền thì thường có sai lệch tần số sóng mang ban đầu (Carrier Frequency Offset) do độ ổn định hạn chế lên đến 20 phần triệu (part per million – ppm). Do đó, các thiết bị NB-IoT thường phải ước lượng và bù trừ sai lệch tần số sóng mang trước khi có thể thực hiện giải điều chế dữ liệu.

Do đó, các thiết bị NB-IoT sẽ thực hiện quá trình đồng bộ khung và đồng bộ tần số với trạm gốc (ENodeB) để truyền nhận dữ liệu. Quá trình đồng bộ khung và tần số trong thiết bị NB-IoT được thực hiện trên dữ liệu đồng bộ sơ cấp băng hẹp (Narrowband Primary Synchronization Signal - NPSS).

Các phương pháp đồng bộ khung truyền thống bao gồm sử dụng tương quan với đoạn bảo vệ (đoạn CP - cyclic prefix) tại tần số lấy mẫu 1,92MSps để tìm đỉnh đồng bộ, hoặc sử dụng quá trình tính toán tương quan chéo, hoặc tính toán tự tương quan giữa các ký tự OFDM của tín hiệu NPSS ... Các phương pháp này đều có đặc điểm chung đó là: độ phức tạp tính toán tương quan lớn dẫn đến năng lượng tiêu thụ ở thiết bị NB-IoT sẽ lớn; các thuật toán dễ bị sai số do vấn đề lệch tần số lớn giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB.

Còn đối với ước lượng sai lệch tần số giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB thường được sử dụng đoạn tương quan với đoạn bảo vệ (cyclic prefix) ở tần số lấy mẫu 1,92MSps. Nhưng điểm hạn chế đó sai số tần số ước lượng được là lớn.

Một trong những vấn đề khó khăn của quá trình đồng bộ khung và tần số của thiết bị NB-IoT đó là phải thực hiện quá trình đồng bộ thành công ở trong điều kiện môi trường nhiễu lớn, hay nói cách khác là tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu (signal to noise ratio – SNR) là rất nhỏ, tới tận -12dBm.

Thực tế, khi hệ thống liên lạc ở dải tần GHz (giả sử 1.2GHz), với độ sai lệch của thạch anh đạt 20ppm, thì giá trị sai lệch tần số giữa máy phát và máy thu là 24kHz. Nếu như độ giãn cách kênh giữa 2 sóng mang con của tín hiệu OFDM là $\Delta f = 15kHz$, thì sai lệch tần số giữa máy phát và máy thu sẽ được định nghĩa là $\varepsilon = 1.6\Delta f$.

Trong nội dung sáng chế này, tác giả đề cập đến một giải pháp ước lượng và đồng bộ khung/tần số của thiết bị người dùng NB-IoT trong môi trường nhiễu lớn, và sai lệch tần số giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB có thể đạt ngưỡng tối đa $r * \Delta f$, giá trị của r sẽ bị giới hạn lại là $-2 \leq r \leq 2$. Bên cạnh đó, tác giả sẽ đề cập đến một giải pháp xác định điểm bắt đầu của khung không bị tác động bởi sai lệch tần số giữa máy phát và máy thu.

Giải pháp được đề xuất có thể áp dụng cho các phiên bản 13, 14, 15 của chuẩn 3GPP dành cho các thiết bị NB-IoT.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích thứ nhất của sáng chế là đề xuất một hệ thống đồng bộ khung và đồng bộ tần số giữa máy phát và máy thu trên thiết bị NB-IoT. Để đạt được mục đích này, hệ thống được đề xuất bao gồm:

Khối giảm tần số lấy mẫu và loại bỏ mã che và tính toán tự tương quan: thực hiện quá trình giảm tần số lấy mẫu từ 1,92MSps xuống còn 240kSps, loại bỏ mã che và thực hiện quá trình tự tương quan trên 2 cửa sổ [W1, W2] có kích thước đều nhau;

Khối lọc và làm mịn giá trị tương quan: thực hiện quá trình tính toán tự tương quan trên nhiều khung dữ liệu 10ms liên tiếp nhau tại tần số lấy mẫu 240kSps, sau đó thực hiện quá trình lọc trung bình để loại bỏ nhiễu tương quan và làm tăng độ tin cậy đỉnh đồng bộ;

Khối tích lũy tương quan: thực hiện quá trình tích lũy giá trị tự tương quan ở quá khứ để nâng cao khả năng tính toán tự tương quan ở thời điểm hiện tại;

Khối ước lượng thô điểm bắt đầu khung dữ liệu: thực hiện quá trình xác định điểm bắt đầu của khung dữ liệu dựa trên so sánh giá trị cực đại của tự tương quan sau N khung dữ liệu (mỗi khung có kích thước 10ms) liên tiếp nhau tại tần số lấy mẫu 240kSps với giá trị ngưỡng cho phép;

Khối xác định sai lệch tần số FFO và bù trừ sai lệch tần số FFO: thực hiện xác định sai lệch tần số FFO giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB tại thời điểm mà giá

trị hàm tự tương quan đạt cực đại. Sai lệch tần số FFO sau đó sẽ được bù trừ vào khung dữ liệu;

Khởi ước lượng tinh chỉnh bắt đầu khung dữ liệu và sai lệch tần số IFO: thực hiện quá trình tính toán tương quan chéo giữa dữ liệu sau bù sai lệch tần số FFO với 187 ký tự IQ của tín hiệu NPSS mà phía thiết bị NB-IoT cũng biết trước tại tần số lấy mẫu 240kSps. Hàm tương quan chéo là hàm của hai biến: vị trí chính xác τ_{max} của ký tự OFDM có chứa các ký tự Zadoff-Chu và tham số sai lệch tần số $\Delta f \cdot IFO$ bằng cách tìm giá trị cực đại của hàm tương quan chéo hai biến tương ứng với hai tham số trên. Sau khi xác định được điểm đồng bộ tinh của tín hiệu NPSS tại tần số lấy mẫu 240kSps, khối này còn thực hiện nhiệm vụ xác định chính xác điểm đồng bộ tinh tại tần số lấy mẫu 1,92MSps.

Mục đích thứ hai của sáng chế là đề xuất một phương pháp đồng bộ khung và đồng bộ tần số giữa máy phát và máy thu trên thiết bị NB-IoT, phương pháp này gồm:

Bước 1: giảm tần số lấy mẫu, loại bỏ mã che S_L ; tại bước này, do bên phát chèn mã che để tăng độ mượt của phổ, bên thu cần loại bỏ mã che để thu lại được đúng đoạn tín hiệu cần tương quan. Quá trình giảm tần số lấy mẫu (từ tần số lấy mẫu 1,92MHz xuống tần số lấy mẫu 240kSps) để giảm độ phức tạp tính toán nhưng vẫn giữ được đầy đủ hiệu năng tính toán. Bước 1 được thực hiện trong khối giảm tần số lấy mẫu và loại bỏ mã che và tính toán tự tương quan;

Bước 2: tính toán tự tương quan trên cửa sổ trượt của dữ liệu thu được tại tần số lấy mẫu 240kSps; tại bước này, quá trình tính toán tương quan là quá trình tự tương quan giữa các ký tự OFDM trong tín hiệu NPSS, và được thực hiện tại tần số lấy mẫu 240kSps để giảm độ phức tạp tính toán. Bước 2 được thực hiện trong khối giảm tần số lấy mẫu và loại bỏ mã che và tính toán tự tương quan;

Bước 3: lọc và làm mượt giá trị tự tương quan, tích lũy giá trị tương quan; tại bước này, loại bỏ nhiễu do quá trình tương quan và tăng độ tin cậy tính toán tương quan. Bước 3 được thực hiện trong khối làm mịn giá trị tự tương quan và trong khối tích lũy tương quan;

Bước 4: xác định thô điểm bắt đầu của khung; tại bước này, xác định điểm mà tại đó giá trị tự tương quan là lớn nhất, và đó cũng là thời điểm thô tại đó dữ liệu được truyền đi, bước này được thực hiện trong khối ước lượng thô điểm bắt đầu của khung dữ liệu;

Bước 5: xác định sai lệch tần số FFO giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB; theo đó, tại điểm giá trị tương quan là lớn nhất sẽ xác định sai lệch tần số thô giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB, bước này được thực hiện trong khối xác định sai lệch tần số FFO và bù trừ FFO;

Bước 6: ước lượng tinh điểm bắt đầu của khung, kết hợp với ước lượng sai lệch tần số IFO giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB; tại bước này, quá trình tính toán tương quan là hàm đồng thời của hai tham số: sai lệch tần số IFO và điểm đồng bộ tinh tại tần số lấy mẫu 240kSps, tại đó, giá trị hàm tương quan của hai tham số đạt giá trị lớn nhất. Bước 6 được thực hiện trong khối ước lượng tinh điểm bắt đầu khung dữ liệu và sai lệch tần số IFO;

Bước 7: xác định chính xác điểm bắt đầu của khung tại tần số lấy mẫu 1,92MSps; nhiệm vụ của bước này là tính toán giá trị hàm tương quan chéo và xác định điểm cực đại của hàm tương quan chéo tại đó điểm đồng bộ chính xác được tìm thấy. Bước 7 được thực hiện trong khối ước lượng tinh điểm bắt đầu khung dữ liệu và sai lệch tần số IFO.

Kết quả đầu ra của hệ thống là xác định chính xác điểm bắt đầu của khung dữ liệu ở nền nhiễu cao và lệch tần lớn, ước lượng gần như chính xác sai hoàn toàn sai số lệch tần giữa máy phát và máy thu.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: hình ảnh minh họa kiến trúc các khối xử lý tại thiết bị NB-IoT thực hiện quá trình đồng bộ khung và tần số.

Hình 2: hình ảnh minh họa các bước xác định điểm bắt đầu của khung dữ liệu và xác định sai lệch tần số giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB.

Hình 3: hình ảnh minh họa quá trình lấy mẫu trong các kí tự của tín hiệu NPSS.

Hình 4: hình ảnh minh họa chuỗi xử lý phía thu thực hiện quá trình loại bỏ mã che S_L .

Hình 5: Hình ảnh minh họa quá trình tính toán tự tương quan.

Hình 6: Hình ảnh minh họa quá trình lọc/làm mượt giá trị tương quan, tích lũy giá trị tương quan sau lọc.

Hình 7: Hình ảnh minh họa công suất $|\Omega_k(\tau_m)|^2$ giá trị tính toán tương quan sau quá trình tích lũy.

Mô tả chi tiết sáng chế

Để đạt được mục đích thứ nhất của sáng chế là đề xuất một hệ thống đồng bộ khung và đồng bộ tần số giữa máy phát và máy thu trên thiết bị NB-IoT. Tham chiếu Hình 1, hệ thống được thực hiện tại phần thu (trên thiết bị NB-IoT) bao gồm các khối chính dùng để đồng bộ khung/tần số: khối giám tần số lấy mẫu và loại bỏ mã che và tính toán tự tương quan 1, khối lọc và làm mịn giá trị tự tương quan 2, khối tích lũy tương quan 3, khối ước lượng thô điểm bắt đầu khung dữ liệu 4, khối xác định sai lệch

tần số FFO và bù trừ sai lệch tần số FFO 5, khối ước lượng tinh điểm bắt đầu khung dữ liệu và sai lệch tần số IFO 6. Cụ thể:

Khối giảm tần số lấy mẫu và loại bỏ mã che và tính toán tự tương quan 1: đây là khối đầu tiên của quá trình tính toán, xác định điểm bắt đầu của khung dữ liệu. Khối này bao gồm các nhiệm vụ:

- Giảm tần số lấy mẫu:

Do tín hiệu NB-IoT được thực hiện ở tần số lấy mẫu 1,92MHz, trong khi băng thông của tín hiệu NB-IoT chỉ là 180kHz. Do đó có thể thực hiện quá trình giảm tần số lấy mẫu xuống 240kSps để thực hiện quá trình tương quan, bằng cách giảm tần số lấy mẫu xuống 8 lần.

- Loại bỏ mã che:

Tham chiếu Hình 4, các ký tự sau quá trình lấy mẫu, tương ứng với ký tự OFDM chứa ký tự Zadoff-Chu truyền đi sẽ loại bỏ các mã che bằng cách nhân với chính mã che đó, đầu ra là 187 ký tự NPSS đã loại bỏ mã che.

- Tính toán tự tương quan trên dữ liệu thu được:

Quá trình tính toán tự tương quan sẽ được tính trên mỗi cửa sổ 187 ký tự sau quá trình giảm tần số lấy mẫu cũng như loại bỏ mã che ở trên.

- Khối lọc và làm mịn giá trị tự tương quan 2: để tăng độ tin cậy của quá trình tính toán tự tương quan ở tần số lấy mẫu 240kSps, và thậm chí để quá trình đồng bộ được thực hiện tốt ở nền nhiễu rất cao ($\text{SNR} \leq -12\text{dB}$), thì bộ thu có thể sử dụng quá trình lặp ở tín hiệu NPSS sau mỗi 10ms. Khi đó bộ thu sẽ tính toán tự tương quan trên cửa sổ trượt cho 10ms (2400 mẫu IQ), và sẽ được lọc sau vài chu kỳ 10ms để tăng mức đỉnh đồng bộ cũng như loại bỏ bớt nhiễu tương quan.

- Khối tích lũy tương quan 3: đối với thiết bị NB-IoT, thường là các thiết bị ít di chuyển, nên sai lệch tần số doppler là hầu như không tồn tại. Do đó, các thiết bị NB-IoT có đáp ứng kênh truyền gần như không đổi trong thời gian dài. Do đó, ở nền nhiễu cao, để nâng cao quá trình đồng bộ, có thể sử dụng quá trình tích lũy giá trị tương quan ở quá khứ để tăng mức đỉnh đồng bộ ở thời điểm hiện tại.

- Khối ước lượng thô điểm bắt đầu khung dữ liệu 4: sau mỗi lần tính toán tự tương quan (qua N chu kỳ 10ms), thì giá trị tự tương quan tại tần số lấy mẫu 240kSps sẽ được so sánh với một ngưỡng biết trước, ngưỡng này được xác định thông qua thực tế. Nếu như có đỉnh tương quan, mà tại đó giá trị tương quan vượt ngưỡng, thì đỉnh đó được coi là điểm đồng bộ thô của khung dữ liệu truyền đi. Trong trường hợp không có đỉnh nào vượt ngưỡng, thì quá trình tự tương quan vẫn tiếp tục trên các cửa sổ trượt 10ms tiếp theo.

- Khối xác định sai lệch tần số FFO và bù trừ FFO 5: một khi đỉnh đồng bộ thô được xác nhận tại khối ước lượng thô điểm bắt đầu khung dữ liệu 4, thì giá trị sai lệch tần số thô được xác định tại vị trí mà đỉnh đồng bộ vượt ngưỡng. Giá trị tần số thô ở đây là giá trị sai lệch tần số FFO. Giá trị sai lệch tần số thô FFO sau đó sẽ được bù trừ vào chuỗi dữ liệu IQ thu được.

- Khối ước lượng tinh điểm bắt đầu của khung dữ liệu và sai lệch tần số IFO 6: sau quá trình đồng bộ thô điểm bắt đầu của khung dữ liệu tại khối ước lượng thô điểm bắt đầu khung dữ liệu 4 và bù trừ sai lệch tần số FFO tại khối xác định sai lệch tần số FFO & bù trừ FFO 5, khối ước lượng tinh điểm bắt đầu khung dữ liệu và sai lệch tần số IFO 6 sẽ có chức năng phát hiện, đồng bộ lại khung dữ liệu bằng cách xác định đồng thời hai tham số: tham số vị trí chính xác của ký tự OFDM có chứa các ký tự Zadoff-Chu và tham số sai lệch tần số $\Delta f \cdot \text{IFO}$ bằng cách tìm giá trị cực đại của hàm tương quan chéo hai biến tương ứng với hai tham số trên. Quá trình tính toán tương quan của hàm hai tham số được thực hiện ở tần số lấy mẫu 240kSps.

Sau khi đã xác định được điểm chính xác của ký tự OFDM của tín hiệu NPSS tại tần số lấy mẫu 240kSps, khối này còn có nhiệm vụ đó là xác định chính xác điểm lấy mẫu tại tần số lấy mẫu 1,92MSps. Quá trình xác định điểm chính xác của ký tự OFDM của tín hiệu NPSS lúc này, tần số lấy mẫu sẽ ở tần số 1,92MHz thay vì tại tần số lấy mẫu 240kSps như ở các khối trên.

Để đạt được mục đích thứ hai của sáng chế là đề xuất một phương pháp đồng bộ khung và đồng bộ tần số giữa máy phát và máy thu trên thiết bị NB-IoT. Phương pháp đề xuất được thể hiện qua tham chiếu Hình 2, Hình 3, Hình 4, Hình 5, Hình 6, Hình 7 như thể hiện tại ví dụ sau đây chỉ có tác dụng làm rõ và sẽ không áp đặt bất kỳ giới hạn nào đối với giải pháp kỹ thuật, cụ thể như sau (tham chiếu Hình 2):

- Bước 1: giảm tần số lấy mẫu và loại bỏ mã che S_i ;

Bước này được thực hiện trong khối giảm tần số và loại bỏ mã che và tính toán tự tương quan 1.

Do dữ liệu đầu vào bộ thu thiết bị NB-IoT được lấy mẫu ở tần số 1,92MSps, tương ứng với chuẩn LTE 4G, trong khi đó băng thông của tín hiệu đường xuống NB-IoT chỉ là 180kHz, do đó có thể giảm tần số lấy mẫu từ 1,92MSps xuống 240kSps bằng cách giảm tần số lấy mẫu đi 8 lần.

Tham chiếu Hình 3, quá trình lấy mẫu là quá trình loại bỏ bớt mẫu trong từng ký tự OFDM của tín hiệu NPSS thu được tại đầu thu. Trong ký tự NPSS có mười ký tự OFDM có kích thước 137 mẫu (gồm 128 mẫu sau biến đổi Fourier ngược IFFT và chín mẫu cho đoạn bảo vệ), và một ký tự OFDM có kích thước 138 (gồm 128 mẫu sau biến

đổi Fourier ngược và mười mẫu cho đoạn bảo vệ). Quá trình lấy mẫu được thực hiện trên cửa sổ trượt.

Giả sử thời điểm bắt đầu lấy mẫu tại thời gian τ , và thời điểm lấy mẫu từ 137 (hoặc 138) ký tự IQ ở tần số lấy mẫu 1,92MSps sẽ thu được 17 ký tự IQ ở tần số lấy mẫu 240kSps được mô tả như Hình 3, và tổng số lượng mẫu cho mỗi lần cửa sổ trượt cho tín hiệu NPSS là 187 mẫu.

Quá trình giảm tần số lấy mẫu được lặp lại sau mỗi chu kỳ $T=10\text{ms}$. Tại mỗi chu kỳ 10ms, chỉ tồn tại duy nhất một tín hiệu NPSS (nếu có) gửi từ trạm gốc eNodeB xuống thiết bị NB-IoT. Và số lượng mẫu IQ cho mỗi chu kỳ 10ms sau quá trình giảm tần số lấy mẫu lúc này chỉ còn 2400 mẫu IQ tại tần số lấy mẫu 240kSps.

Loại bỏ mã che:

Tham chiếu Hình 4, 187 ký tự IQ của tín hiệu NPSS bị nhiễu sẽ nhân với mã che S_l để loại bỏ mã che. 17 ký tự IQ tương ứng với một mã che S_l :

$$B_{k \in \{0:10\}} = S_k Y_k$$

- Bước 2: tính toán tự tương quan trên cửa sổ trượt của dữ liệu thu được tại tần số lấy mẫu 240kSps;

Bước này được thực hiện trong khối loại bỏ mã che và tính toán tự tương quan 2.

Sau quá trình loại bỏ mã che, ta sẽ thu được 187 ký tự IQ, và trong trường hợp không bị nhiễu, thì 187 ký tự IQ này là của mười một ký tự OFDM giống hệt nhau sinh ra ở phân phát, và mỗi ký tự OFDM sau giảm mẫu bao gồm 17 ký tự IQ.

Tham chiếu Hình 5, quá trình tính toán tự tương quan trên dữ liệu IQ sẽ được thực hiện tại cửa sổ trượt 187 ký tự IQ, nhưng chỉ dùng 170 ký tự IQ để tính toán tự tương quan, và sẽ tính toán trên cặp cửa sổ trượt $[W1, W2]$ trên suốt 17 ký tự IQ còn lại. Giả sử thời điểm bắt đầu tính toán tương quan của cặp cửa sổ trượt $[W1, W2]$ là τ , các quá trình tính toán tự tương quan tiếp theo sẽ từ $\tau+1 \rightarrow \tau+16$.

Đối với tín hiệu đồng bộ NPSS thì 170 ký tự IQ này sẽ gồm hai nửa giống hệt nhau $[B, B]$; mỗi nửa gồm 85 ký tự IQ, tương ứng với năm ký tự OFDM sau quá trình giảm tần số lấy mẫu ở bước 1. Quá trình tính toán tự tương quan được thực hiện dựa trên việc sử dụng cửa sổ trượt, gồm hai cửa sổ $W1$ và $W2$, có kích thước giống nhau và bao gồm 85 ký tự IQ. Hai cửa sổ $W1$ và $W2$ liên tiếp nhau, trượt dọc theo dữ liệu IQ y thu được ở trên. Quá trình tính toán tương quan giữa hai cửa sổ $W1, W2$ trên dữ liệu

$B_{k \in \{0:10\}}$ (tham chiếu Hình 4), và trượt trên 17 mẫu ký tự IQ tại các thời điểm τ , đây là công thức đã được tác giả sáng tạo ra để phù hợp với nội dung của sáng chế:

$$Q_k(\tau) = \sum_{m=0}^{16} \sum_{i=0}^{84} B^H(\tau+m)B(\tau+i+m)$$

Quá trình tính toán tương quan là quá trình tích lũy 17 lần, tương ứng với 17 lần trượt cửa sổ [W1, W2], với $(.)^H$ là toán tử liên hợp phức, $B(\tau+m)$ là dữ liệu IQ ở cửa sổ W1, và $B(\tau+i+m)$ là dữ liệu IQ ở cửa sổ W2.

Như vậy, sau mỗi chu kỳ 10ms, ta sẽ thu được 2400 giá trị tương quan $Q_k(\tau)$.

Giả sử Θ là góc pha được sinh ra do vấn đề sai lệch tần số giữa máy phát và máy thu, và vị trí điểm lấy mẫu chính xác tại tần số lấy mẫu 240kSps là τ_0 . Khi $\tau = \tau_0$, giá trị tính toán tương quan $Q_k(\tau)$ có giá trị góc pha tỉ lệ thuận với $k\Theta$:

$$Q_k(\tau_0) \sim e^{jk\Theta}$$

Quá trình tính toán tự tương quan trên cửa sổ trượt có thể được tính ở tần số lấy mẫu 1,92MSps. Tuy nhiên, được tính ở tần số lấy mẫu 240kSps để giảm độ phức tạp tính toán, nhưng vẫn đảm bảo hiệu năng. Ngoài ra, quá trình tính toán tự tương quan có thể lặp lại sau 10ms.

- Bước 3: lọc và làm mượt giá trị tương quan, tích lũy giá trị tương quan;

Bước này được thực hiện trong khối làm mịn giá trị tự tương quan 2 và khối tích lũy tương quan 3. Theo đó, nhiệm vụ của bước này bao gồm:

+ Lọc và làm mượt giá trị tự tương quan:

Tham chiếu Hình 6, để tăng độ tin cậy của đỉnh sau quá trình tính toán tự tương quan ở tần số lấy mẫu 240kSps và với ngưỡng tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu rất thấp ($\text{SNR} \leq -12\text{dB}$), thì có thể thực hiện quá trình tính toán tự tương quan sau mỗi chu kỳ 10ms và thực hiện N (với $N > 1$) chu kỳ liên tiếp nhau. Lúc này ta có thể làm mượt quá trình tính toán tự tương quan $Q_k(\tau)$ ở bước 1 thông qua bộ lọc tuyến tính trung bình tại công thức (đây là công thức về quá trình lọc tuyến tính trung bình thông dụng):

$$\overline{Q_k(\tau)} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Q_k(\tau + nT)$$

$\overline{Q_k(\tau)}$ là kết quả của quá trình lọc tuyến tính trung bình.

Tham chiếu Hình 6 miêu tả ví dụ, tại đó giá trị N được chọn = 3, tương ứng với quá trình tính toán tự tương quan ở ba khung dữ liệu liên tiếp nhau, tương ứng với ba tín hiệu NPSS liên tiếp nhau, và được lọc trung bình để loại nhiễu. Để tăng khả năng lọc, có thể sử dụng nhiều hơn ba khung dữ liệu ($N > 3$).

Đối với trường hợp nền nhiễu cao ($\text{SNR} \leq -12\text{dB}$) thì giá trị $N = 100 \rightarrow 500$. Việc xác định số lần lặp tính toán được xác định là một hàm của giá trị tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu SNR:

$$N = f(\text{SNR})$$

Khi SNR càng cao thì N càng nhỏ để giảm độ trễ/thời gian tính toán nhưng vẫn đảm bảo độ tin cậy tính toán tự tương quan; khi SNR càng nhỏ thì N càng lớn để tăng độ tin cậy tính toán tự tương quan.

+ Tích lũy giá trị tương quan:

Để tăng cự ly liên lạc cho thiết bị NB-IoT, hoặc tăng khả năng phát hiện tín hiệu tại nền nhiễu cao ($\text{SNR} \leq -12\text{dB}$), tín hiệu đường xuống gửi từ trạm gốc eNodeB sẽ thực hiện truyền lặp đi lặp lại nhiều lần. Như vậy, tín hiệu NPSS sẽ được truyền lặp lại sau cứ chu kì 10ms, và có thể truyền liên tục tới 3h. Do đó, tham chiếu Hình 6, giá trị tương quan $\overline{Q_{k-1}}(\tau)$ của N thời điểm trước đó sẽ được sử dụng để tăng độ tin cậy của quá trình tính toán N chu kì của bước lọc và làm mượt tín hiệu tương quan như ở trên tại thời điểm hiện tại $\overline{Q_k}(\tau)$:

$$\begin{aligned}\Omega_k(\tau) &= \sigma * \overline{Q_k}(\tau) + (1 - \sigma) * \overline{Q_{k-1}}(\tau), \quad 0.5 < \sigma < 1 \\ \overline{Q_k}(\tau) &= \Omega_k(\tau)\end{aligned}$$

Quá trình thực hiện tích lũy tương quan ở trên là một quá trình lọc đệ quy, và được dùng để tăng quá trình xác định điểm tương quan τ_0 tại thời điểm hiện tại.

Giá trị $\sigma > 0.5$ để đảm bảo độ tin cậy xác định điểm đồng bộ tự tương quan tại thời điểm hiện tại chiếm trọng số cao hơn giá trị được xác định trong quá khứ.

Giá trị $\overline{Q_k}(\tau)$ sau đó sẽ được cập nhật lại và trở thành giá trị tương quan quá khứ của N chu kì bước lọc tiếp theo.

- Bước 4: xác định thô điểm bắt đầu của khung;

Bước này được thực hiện trong khối ước lượng thô điểm bắt đầu khung dữ liệu 4.

Tham chiếu Hình 7, sau quá trình tích lũy giá trị tương quan, điểm đồng bộ khung tại tần số lấy mẫu 240kSps sẽ được xác định thông qua việc xác định thời điểm τ_{peak} tại đó giá trị hàm tương quan tích lũy $\Omega_k(\tau)$ có công suất đạt giá trị cực đại:

$$\tau_{peak} = \arg \left(\max_{m=0 \rightarrow (M-1)} \left(\left| \Omega_k(\tau_m) \right|^2 \right) \right)$$

Với $\arg\left(\max_{m=0 \rightarrow (M-1)} (.)\right)$ là hàm xác định giá trị τ_m lớn nhất của giá trị tương quan $\Omega_k(\tau)$. Giá trị τ_{peak} sẽ được coi là điểm bắt đầu của khung dữ liệu tại tần số 240kSps nếu như thỏa mãn công thức điều kiện đỉnh đồng bộ sau, đây là công thức đã được tác giả sáng tạo ra để phù hợp với nội dung của sáng chế:

$$\frac{\sum_{\Delta=-1}^1 \left| \Omega_k(\tau_{peak+\Delta}) \right|^2}{\left| \Omega_k(\tau_{peak}) \right|^2 - \sum_{m=0; m \neq (peak+\Delta)}^{M-1} \left| \Omega_k(\tau_m) \right|^2} \geq 0.5$$

Tham chiếu Hình 7, giá trị công suất đỉnh đồng bộ $\left| \Omega_k(\tau_m) \right|^2$ là một biểu đồ dạng hình chuông, với giá trị tương quan một số điểm xung quanh đỉnh τ_{peak} gần như đạt giá trị cực đại. Do đó, công thức điều kiện đỉnh đồng bộ ở trên được tính toán thêm 2 điểm xung quanh điểm τ_{peak} để tăng độ tin cậy xác định đỉnh (tương ứng với $\Delta = \pm 1, 0$).

Tham chiếu Hình 2, trong trường hợp xác định được đỉnh đồng bộ thoả mãn điều kiện trên, thì sẽ đi đến bước 5. Trong trường hợp ngược lại, không tìm được đỉnh đồng bộ thoả mãn điều kiện trên, thì sẽ quay lại bước 1.

- Bước 5: xác định sai lệch tần số FFO giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB;

Bước này được thực hiện trong khối xác định sai lệch tần số FFO & bù trừ sai lệch tần số FFO 5.

Tại bước 1, ta đã chỉ ra rằng, khi $\tau = \tau_0 = \tau_{peak}$, giá trị tính toán tương quan $Q_k(\tau)$ có giá trị góc pha tỉ lệ thuận với $k\theta$ với θ góc pha được sinh ra do vấn đề sai lệch tần số giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB. Do đó, để tăng độ tin cậy xác định lệch tần số FFO, ta có thể sử dụng góc pha của $\Omega_k(\tau)$ để xác định sai lệch tần số FFO, với $F_s = 240\text{kSps}$ là tần số lấy mẫu, đây là công thức đã được tác giả sáng tạo ra để phù hợp với nội dung của sáng chế:

$$f_{FFO} = \mu * F_s * \frac{\text{angle}\left(\Omega_k(\tau_{peak})\right)}{2 * \pi * 85}$$

Trong đó $\mu = \frac{128}{137}$ là hệ số điều chỉnh do quá trình tính toán tương quan khi giảm tần số lấy mẫu từ 1,92MSps xuống 240kSps (bao gồm cả đoạn bảo vệ). Giá trị 85 tương ứng với kích thước của sổ trượt W. Giá trị sai lệch tần số f_{FFO} sau đó sẽ được bù vào chuỗi dữ liệu tại tần số lấy mẫu 240kSps trước khi đi vào bước 6.

- Bước 6: ước lượng tinh điểm bắt đầu của khung, kết hợp với ước lượng sai lệch tần số IFO giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB;

Bước này được thực hiện trong khối ước lượng tinh điểm bắt đầu khung dữ liệu và sai lệch tần số IFO 6.

Do sai lệch tần số giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB có thể đạt ngưỡng tối đa $r^* \Delta f$, giá trị của r sẽ bị giới hạn lại là $-2 \leq r \leq 2$ với $\Delta f = 15\text{kHz}$. Như vậy, năm giá trị của r được thêm vào sai lệch tần số FFO để xác định giá trị sai lệch tần số IFO.

Tham chiếu Hình 2, trong trường hợp nền nhiễu thấp (giá trị SNR cao) thì quá trình ước lượng tinh điểm bắt đầu của khung và kết hợp với ước lượng sai lệch tần số IFO được thực hiện như sau:

- $r = -2 \rightarrow 2$.
- Bù trừ sai lệch tần số IFO là $r^* \Delta f$ với một vài khung dữ liệu 10ms tại tần số lấy mẫu 240kSps. Chỉ cần vài khung dữ liệu 10ms để đạt được độ tin cậy tính toán.
- Tính toán hàm tương quan chéo giữa khung cửa sổ 187 mẫu IQ thu được (tham chiếu Hình 5) với 187 mẫu IQ của tín hiệu NPSS tại tần số lấy mẫu 240kSps đã biết trước (trong điều kiện lý tưởng):

$$C(\tau, r) = R(\tau, r) * A_{NPSS}^H$$

Trong đó, $R(\tau, r)$ là 187 giá trị IQ thu được tại tần số lấy mẫu 240kSps, A_{NPSS} là giá trị tín hiệu NPSS tại tần số lấy mẫu 240kSps và là giá trị cả bên phát và bên thu đều biết trước. $C(\tau, r)$ là giá trị tương quan chéo, là hàm của hai biến τ và r . Toán tử $(.)^H$ là hàm chuyển vị.

- Quá trình tính toán hàm tương quan chéo được thực hiện với chỉ số thời gian τ được vi chỉnh xung quanh điểm đồng bộ thô đã được xác định ở bước 5. Với $C(\tau, r)$ là hàm tính toán tương quan chéo của 2 biến (τ, r) , $R(\tau, r)$ là 187 ký tự IQ sau khi đã bù sai lệch tần số IFO, A_{NPSS}^H là 187 mẫu IQ của tín hiệu NPSS đã biết trước trong điều kiện lý tưởng.

- Xác định giá trị cực đại hàm 2 biến $C(\tau, r)$ để tìm ra điểm đồng bộ tinh tại tần số lấy mẫu 240kSps, đồng thời xác định chính xác sai lệch tần số IFO giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB:

$$(\tau_{max}, r_{max}) = \underset{r \in \{\pm 2, \pm 1, 0\}}{\operatorname{argmax}} |C(\tau, r)|$$

Tham chiếu Hình 2, trong trường hợp nền nhiễu cao ($\text{SNR} < -12\text{dB}$), thì quá trình ước lượng tinh chỉnh bắt đầu của khung và kết hợp với ước lượng sai số lệch tần IFO được thực hiện như sau:

- $r = -2 \rightarrow 2$.
- Bù trừ sai lệch tần số IFO là $r * \Delta f$ với nhiều khung dữ liệu 10ms tại tần số lấy mẫu 240kSps. Trong trường hợp này, số lượng khung dữ liệu 10ms cần sử dụng là nhiều ($N \sim 100$ khung trở lên).
- Tính toán hàm tương quan chéo giữa khung của số 187 mẫu IQ thu được (tham chiếu Hình 5) với 187 mẫu IQ của tín hiệu NPSS tại tần số lấy mẫu 240kSps đã biết trước (trong điều kiện lý tưởng):

$$C(\tau, r) = R(\tau, r) * A_{NPSS}^H$$

Trong đó, $R(\tau, r)$ là 187 giá trị IQ thu được tại tần số lấy mẫu 240kSps, A_{NPSS} là giá trị tín hiệu NPSS tại tần số lấy mẫu 240kSps và là giá trị cả bên phát và bên thu đều biết trước. $C(\tau, r)$ là giá trị tương quan chéo, là hàm của hai biến τ và r . Toán tử $(.)^H$ là hàm chuyển vị.

- Quá trình tính toán hàm tương quan chéo được thực hiện với chỉ số thời gian τ được vi chỉnh xung quanh điểm đồng bộ thô đã được xác định ở bước 5. Với $C(\tau, r)$ là hàm tính toán tương quan chéo của 2 biến (τ, r) , $R(\tau, r)$ là 187 ký tự IQ sau khi đã bù sai lệch tần số IFO, A_{NPSS}^H là 187 mẫu IQ của tín hiệu NPSS đã biết trước trong điều kiện lý tưởng.

- Thực hiện quá trình lọc và làm mượt giá trị tự tương quan. Tích lũy giá trị tương quan chéo (như bước 3, tham chiếu Hình 2).

- Xác định giá trị cực đại hàm 2 biến $C_m(\tau, r)$ để tìm ra điểm đồng bộ tinh tại tần số lấy mẫu 240kSps, đồng thời xác định chính xác sai lệch tần số IFO giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB:

$$(\tau_{\max}, r_{\max}) = \underset{r \in \{\pm 2, \pm 1, 0\}}{\operatorname{argmax}} |C_m(\tau, r)|$$

- Hàm $C_m(\tau, r)$ là hàm tích lũy tương quan chéo của N khung dữ liệu 10ms ($N \sim 100$ khung trở lên).

Sau bước 6, sai lệch tần số tinh IFO sẽ là giá trị $r_{\max}$.

- Bước 7: xác định chính xác điểm bắt đầu của khung tại tần số lấy mẫu 1,92MSps;

Bước này được thực hiện trong khối ước lượng tinh chỉnh bắt đầu khung dữ liệu và sai lệch tần số IFO 6.

Từ các bước trên, ta sẽ xác định được điểm đồng bộ tinh tại tần số lấy mẫu 240kSps, và sai lệch tần số giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB, với sai lệch tần số ước lượng được: $f_{CFO} = f_{FFO} + r_{max} * \Delta f$.

Quá trình xác định chính xác điểm bắt đầu của khung tại tần số lấy mẫu 1,92MSps được thực hiện như sau:

- Bù sai lệch tần số f_{CFO} vào mỗi khung con mới nhận được, bao gồm khung con chứa ký tự NPSS.
- Tính toán tương quan chéo các khung con với tín hiệu NPSS biết trước (tại tần số lấy mẫu 1,92MSps), xung quanh điểm lấy mẫu $8 * \tau_{max} + \Delta \tau$ với τ_{max} là điểm đồng bộ tinh tìm được ở bước 6, và $\Delta \tau$ là vi sai xung quanh điểm lấy mẫu.
- Xác định điểm đồng bộ tinh tại tần số lấy mẫu 1,92MSps, tại đó giá trị hàm tương quan chéo đạt cực đại.

Như vậy, ở trên ta đã đề cập đến phương pháp đồng bộ khung trong tín hiệu đường xuống của thiết bị vạn vật kết nối băng hẹp. Sáng chế cũng đề cập đến phương pháp ước lượng lệch tần số giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB qua 2 tham số FFO, IFO.

Yêu cầu bảo hộ

1. Hệ thống đồng bộ khung và đồng bộ tần số giữa máy phát và máy thu trên thiết bị NB-IoT, hệ thống này gồm các khối:

khối giảm tần số lấy mẫu, loại bỏ mã che và tính toán tự tương quan: thực hiện quá trình giảm tần số lấy mẫu từ 1,92MSps xuống còn 240kSps, loại bỏ mã che và thực hiện quá trình tự tương quan trên 2 cửa sổ trượt $[W1, W2]$ có kích thước đều nhau;

khối lọc và làm mịn giá trị tương quan: thực hiện quá trình tính toán tự tương quan trên nhiều khung dữ liệu 10ms liên tiếp nhau tại tần số lấy mẫu 240kSps, sau đó thực hiện quá trình lọc trung bình để loại bỏ nhiễu tương quan và làm tăng độ tin cậy đỉnh đồng bộ;

khối tích lũy tương quan: thực hiện quá trình tích lũy giá trị tự tương quan ở quá khứ để nâng cao khả năng tính toán tự tương quan ở thời điểm hiện tại;

khối ước lượng thô điểm bắt đầu của khung dữ liệu: thực hiện quá trình xác định điểm bắt đầu của khung dữ liệu dựa trên so sánh giá trị cực đại của tự tương quan sau N khung dữ liệu (mỗi khung có kích thước 10ms) liên tiếp nhau tại tần số lấy mẫu 240kSps với giá trị ngưỡng cho phép;

khối xác định sai lệch tần số FFO & bù trừ sai lệch tần số FFO: thực hiện xác định sai lệch tần số FFO giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB tại thời điểm mà giá trị hàm tự tương quan đạt cực đại, sai lệch tần số FFO sau đó sẽ được bù trừ vào khung dữ liệu;

khối ước lượng tinh điểm bắt đầu khung dữ liệu và sai lệch tần số IFO: thực hiện quá trình tính toán tương quan chéo giữa dữ liệu sau bù sai lệch tần số FFO với 187 ký tự IQ của tín hiệu NPSS mà phía thiết bị NB-IoT cũng biết trước tại tần số lấy mẫu 240kSps, hàm tương quan chéo là hàm của hai biến: vị trí chính xác τ_{max} của ký tự OFDM có chứa các ký tự Zadoff-Chu và tham số sai lệch tần số IFO $= r_{max}$ bằng cách tìm giá trị cực đại của hàm tương quan chéo hai biến tương ứng với hai tham số trên, sau khi xác định được điểm đồng bộ tinh của tín hiệu NPSS tại tần số lấy mẫu 240kSps, khối này còn thực hiện nhiệm vụ xác định chính xác điểm đồng bộ tinh tại tần số lấy mẫu 1,92MSps bằng cách tính toán hàm tương quan chéo giữa khung dữ liệu nhận được với tín hiệu NPSS biết trước xung quanh điểm lấy mẫu tinh vi chỉnh tại tần số lấy mẫu 240kSps xác định ở trên.

2. Phương pháp đồng bộ khung và đồng bộ tần số giữa máy phát và máy thu trên thiết bị NB-IoT, phương pháp này gồm các bước:

bước 1: giảm tần số lấy mẫu, loại bỏ mã che S_T : tại bước này, quá trình giảm tần số lấy mẫu từ tần số 1,92MSps xuống tần số 240kSps; ký tự IQ đầu tiên được lấy mẫu tùy vị trí ký tự OFDM với đoạn bảo vệ (cyclic prefix) là chín hay mười; sau đó cứ cách

tám kí tự IQ ta sẽ giữ lại một kí tự IQ; quá trình loại bỏ mã che được thực hiện bằng cách nhân các kí tự IQ sau quá trình giảm tần số lấy mẫu với mã che S_i ; 17 kí tự IQ tương ứng với một mã che S_i ;

bước 2: tính toán tự tương quan trên cửa sổ trượt của dữ liệu thu được tại tần số lấy mẫu 240kSps; tại bước này, quá trình tính toán tương quan giữa hai cửa sổ $[W1, W2]$ (có kích thước giống hệt nhau và đều có kích thước 85 kí tự IQ) trên dữ liệu $B_{k \in \{0:10\}}$, và trượt trên 17 mẫu kí tự IQ tại các thời điểm $\tau \rightarrow \tau + 16$:

$$Q_k(\tau) = \sum_{m=0}^{16} \sum_{i=0}^{84} B^H(\tau + m) B(\tau + i + m)$$

quá trình tính toán tương quan là quá trình tích lũy 17 lần, tương ứng với 17 lần trượt cửa sổ $[W1, W2]$; và được thực hiện trong khối giảm tần lấy mẫu, loại bỏ mã che và tính toán tự tương quan;

bước 3: lọc và làm mượt giá trị tự tương quan, tích lũy giá trị tương quan; bước này được thực hiện trong hai khối đó là khối làm mịn giá trị tự tương quan và khối tích lũy tương quan, tại bước này, tiến hành làm mượt quá trình tính toán tự tương quan ở bước 1 thông qua bộ lọc tuyến tính trung bình:

$$\overline{Q_k}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Q_k(\tau + nT)$$

số lần lặp tính toán N được xác định là một hàm của giá trị tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu SNR:

$$N = f(SNR)$$

khi SNR càng cao thì N là nhỏ, và ngược lại, khi SNR càng thấp, thì N càng lớn để tăng độ tin cậy tính toán tự tương quan;

sau đó, giá trị tương quan $\overline{Q_{k-1}}(\tau)$ của N thời điểm trước đó sẽ được sử dụng để tăng độ tin cậy của quá trình tính toán N chu kì của bước lọc và làm mượt tín hiệu tương quan như ở trên tại thời điểm hiện tại $\overline{Q_k}(\tau)$ thông qua quá trình lọc đệ quy:

$$\begin{aligned} \Omega_k(\tau) &= \sigma * \overline{Q_k}(\tau) + (1 - \sigma) * \overline{Q_{k-1}}(\tau), \quad 0.5 < \sigma < 1 \\ \overline{Q_k}(\tau) &= \Omega_k(\tau) \end{aligned}$$

bước 4: xác định thô điểm bắt đầu của khung; bước này được thực hiện trong khối ước lượng thô điểm bắt đầu khung dữ liệu tại bước này, điểm đồng bộ khung tại tần số lấy mẫu 240kSps sẽ được xác định thông qua việc xác định thời điểm τ_{peak} tại đó giá trị hàm tương quan tích lũy $\Omega_k(\tau)$ có công suất đạt giá trị cực đại:

$$\tau_{peak} = \arg \left(\max_{m=0 \rightarrow (M-1)} \left(\left| \Omega_k(\tau_m) \right|^2 \right) \right)$$

giá trị τ_{peak} sẽ được coi là điểm bắt đầu của khung dữ liệu tại tần số 240kSps nếu như thỏa mãn công thức điều kiện đỉnh đồng bộ sau:

$$\frac{\sum_{\Delta=-1}^1 \left| \Omega_k(\tau_{peak+\Delta}) \right|^2}{\left| \Omega_k(\tau_{peak}) \right|^2 - \sum_{m=0; m \neq (peak+\Delta)}^{M-1} \left| \Omega_k(\tau_m) \right|^2} \geq 0.5$$

bước 5: xác định sai lệch tần số FFO giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB; bước này được thực hiện trong khối xác định sai lệch tần số FFO và bù trừ sai lệch tần số FFO; tại bước này, sai lệch tần số FFO được xác định theo công thức:

$$f_{FFO} = \mu * F_s * \frac{\text{angle}(\Omega_k(\tau_{peak}))}{2 * \pi * 85}$$

bước 6: ước lượng tinh điểm bắt đầu của khung, kết hợp với ước lượng sai lệch tần số IFO giữa thiết bị NB-IoT và trạm gốc eNodeB; bước này được thực hiện trong khối ước lượng tinh điểm bắt đầu khung dữ liệu và sai lệch tần số IFO; tại bước này, quá trình xác định điểm đồng bộ tinh và sai lệch tần số IFO là xác định hàm tương quan chéo giữa khung của số 187 mẫu IQ thu được với 187 mẫu IQ của tín hiệu NPSS tại tần số lấy mẫu 240kSps mà bên thiết bị NB-IoT đã biết trước (trong điều kiện lý tưởng), và tìm giá trị cực đại của hàm tương quan chéo (của hai biến: vị trí chính xác điểm lấy mẫu τ_{max} và sai lệch tần số tinh r_{max}) xung quanh điểm đồng bộ thô ở bước 5:

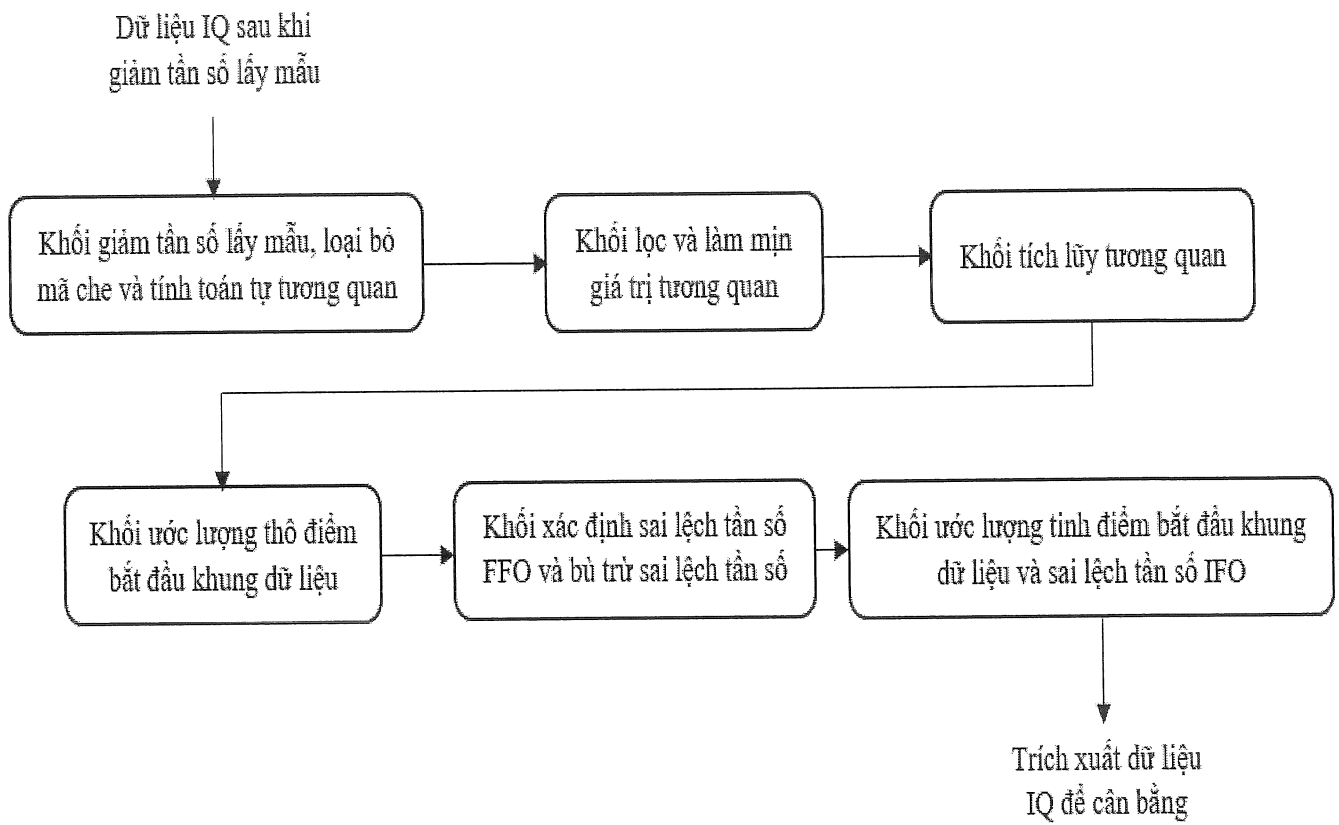
$$C(\tau, r) = R(\tau, r) * A_{NPSS}^H$$

$$(\tau_{max}, r_{max}) = \underset{r \in \{\pm 2, \pm 1, 0\}}{\operatorname{argmax}} |C_m(\tau, r)|$$

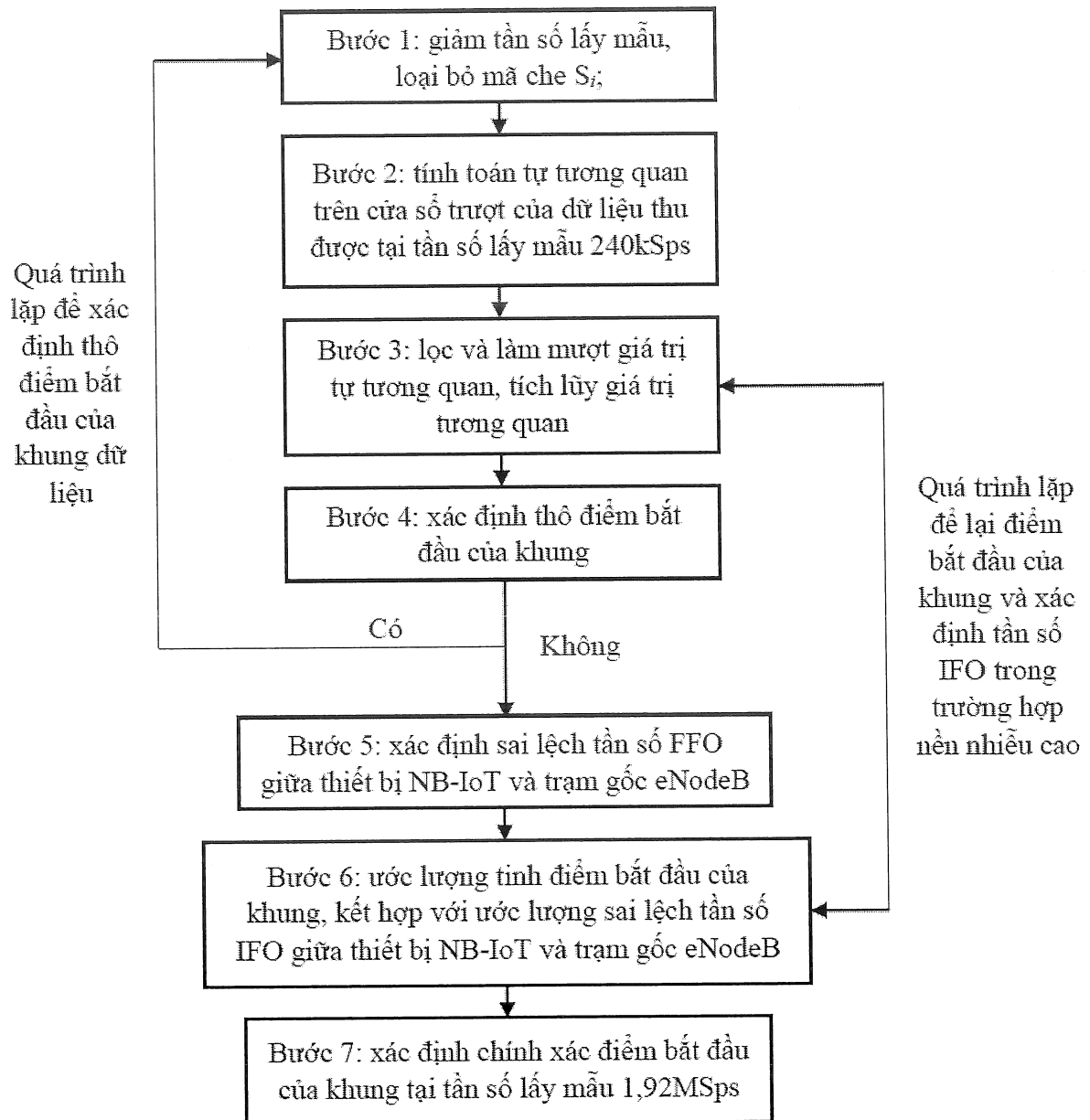
trong trường hợp SNR cao, thì chỉ cần tính toán hàm tương quan chéo $C(\tau, r)$ trong một vài khung dữ liệu 10ms, từ đó có thể xác định được điểm đồng bộ tinh và sai lệch tần số IFO; trong trường hợp SNR kém ($\text{SNR} < -5\text{dB}$) thì có thể tính toán tự tương quan chéo trên N khung dữ liệu 10ms liên tục, sau đó thực hiện quá trình lọc và làm mượt giá trị tự tương quan; tích lũy giá trị tương quan như ở bước 3;

bước 7: xác định chính xác điểm bắt đầu của khung tại tần số lấy mẫu 1,92MSps; bước này được thực hiện trong khối ước lượng tinh điểm bắt đầu khung dữ liệu và sai lệch tần số IFO; tại bước này quá trình xác định chính xác điểm lấy mẫu ở tần số

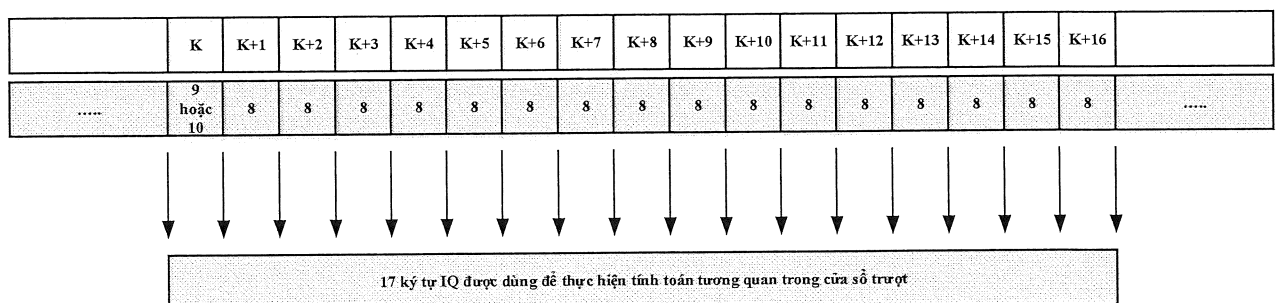
1,92MSps được thực hiện bằng cách tính toán tương quan chéo các subframe với tín hiệu NPSS biết trước (tại tần số lấy mẫu 1,92MSps), xung quanh điểm lấy mẫu $8*\tau_{max} + \Delta\tau$ với τ_{max} là điểm đồng bộ tinh tìm được ở bước 6, và $\Delta\tau$ là vi sai xung quanh điểm lấy mẫu, xác định điểm đồng bộ tinh tại tần số lấy mẫu 1,92MSps, tại đó giá trị hàm tương quan chéo đạt cực đại.



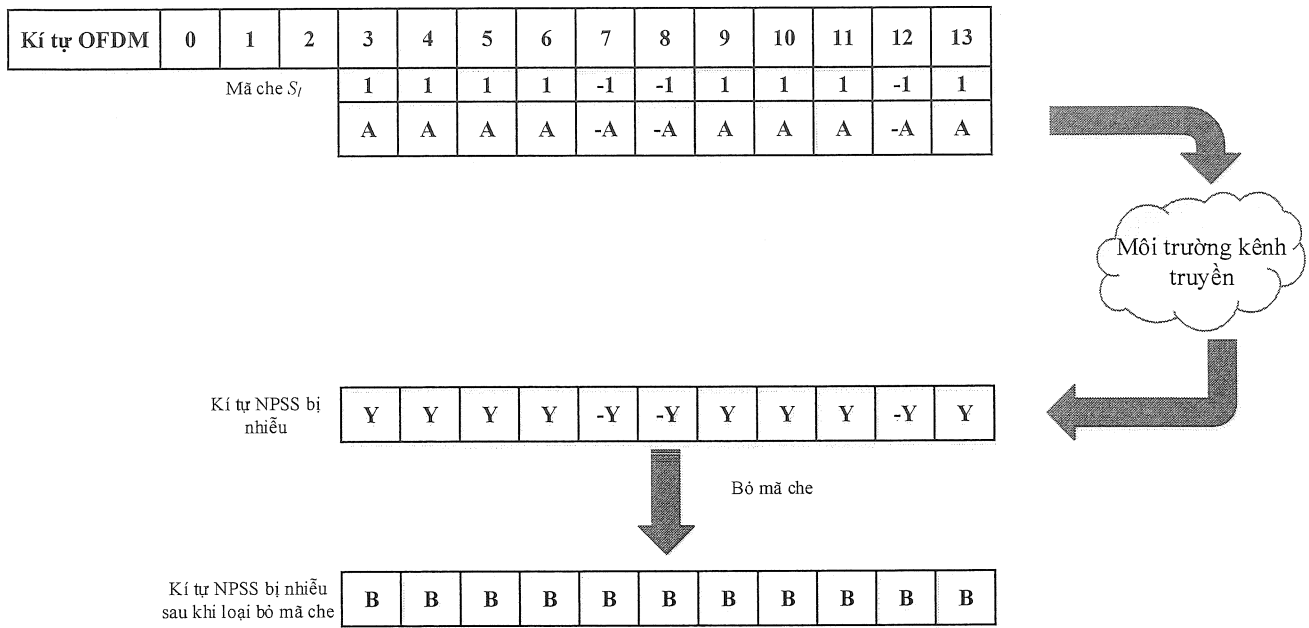
Hình 1



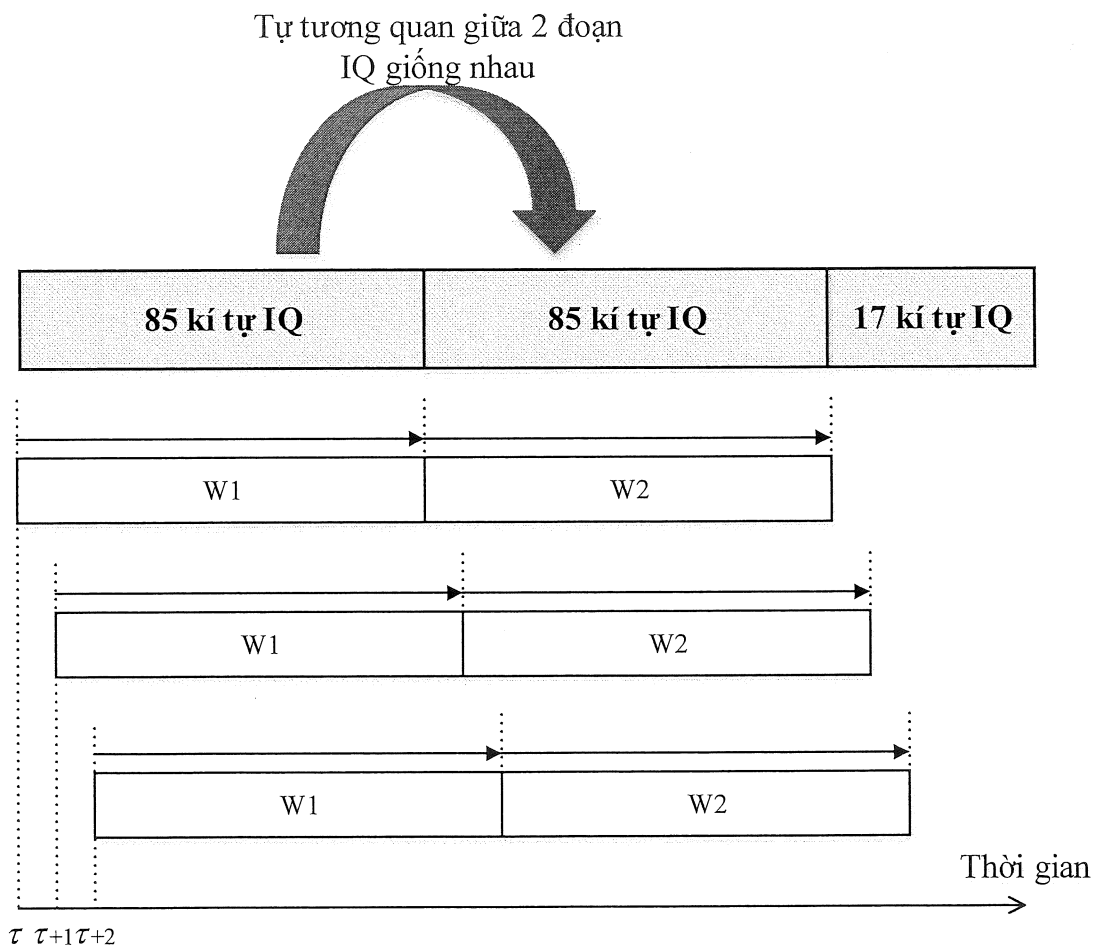
Hình 2



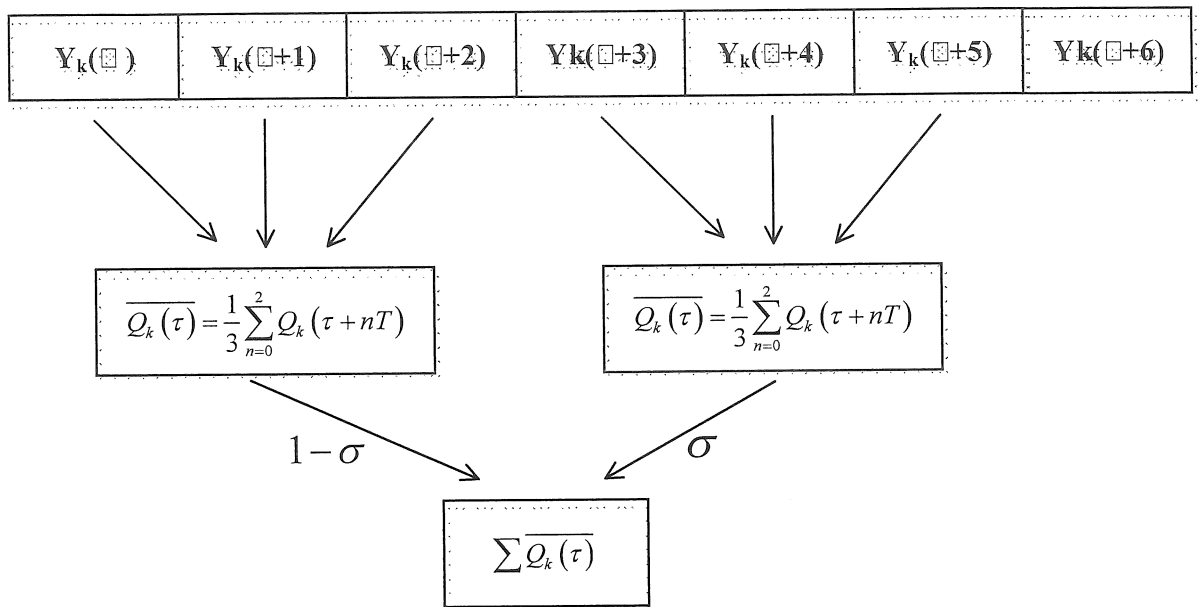
Hình 3



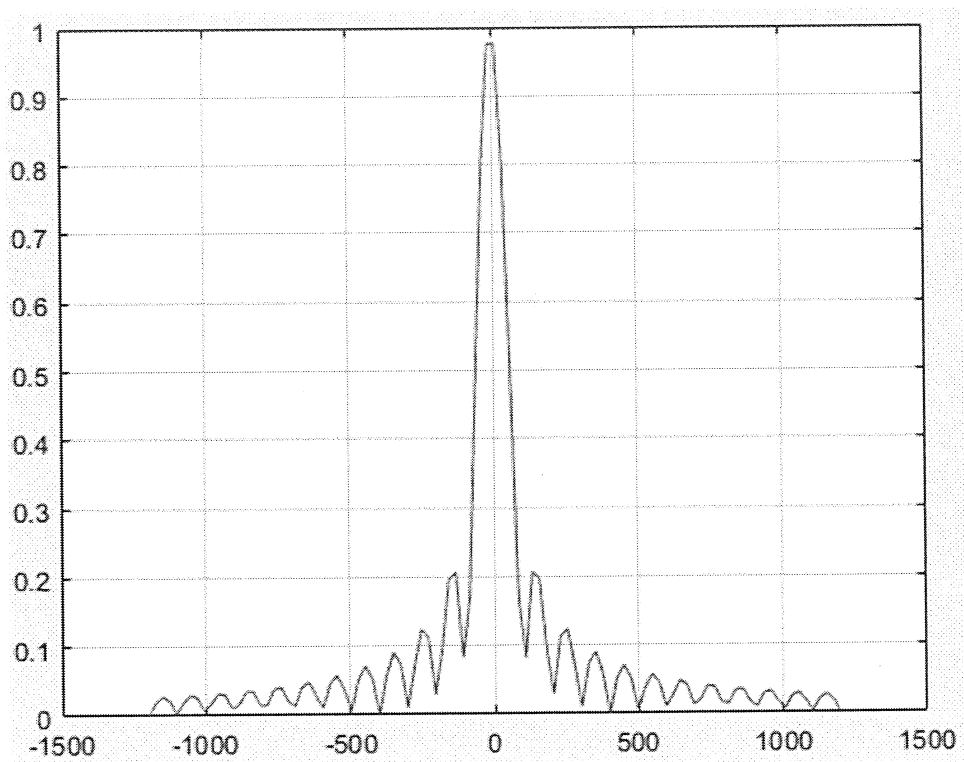
Hình 4



Hình 5



Hình 6



Hình 7